

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 12 (2)

April 2019

Article link

<http://www.seasinop.com.br/revista/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=732&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discoursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES.



Um estudo abrangente do concreto convencional reforçado com fibras de polipropileno

A comprehensive study of the polypropylene fibers reinforced conventional concrete

J. P. Callegari, L. M. L. Fischer, F. U. Farrão, M. S. Liberato

Centro Universitário Campo Limpo Paulista

Author for correspondence: michelle.liberato82@gmail.com

Resumo. O objetivo do trabalho foi apresentar estudos das propriedades e caracterização do concreto convencional e concreto reforçado com fibra de polipropileno. Os temas foram abordados teoricamente: concreto, compósitos, fibras, fibras de polipropileno e, na sequência, foram realizados testes práticos, com corpos de prova destes dois materiais, de resistência à compressão, absorção de água e resistência ao calor, para verificar as diferenças de propriedades destes dois materiais. Os testes foram concluídos e pode-se notar que a aplicação da fibra de polipropileno no concreto como reforço para o concreto é satisfatória, já que o teste de absorção de água obteve resultados semelhantes para os dois materiais, e executando o teste de resistência a compressão, observou-se que os corpos de prova com fibra, obtiveram melhores resultados do que o concreto convencional. Por último, o teste de resistência ao calor, apresentou que a fibra realmente degrada na faixa de temperatura informada pelo fornecedor, sendo mais uma vantagem para sua aplicação em túneis, frente aos incêndios.

Palavras chave: Compósito, concreto, fibra de polipropileno, resistência à compressão, absorção de água, resistência ao calor.

Abstract. The aim of this study was to study of the properties and characterization of conventional concrete and reinforced concrete with polypropylene fiber. Themes were theoretically addressed: concrete, composites, fibers, polypropylene fibers. In addition, practical tests were carried out, with test specimens of these two materials, of compressive strength, water absorption and heat resistance, to verify the differences in the properties of these two materials. The tests were completed and it can be noted that the application of the polypropylene fiber in the concrete as reinforcement for the concrete is satisfactory, because the water absorption test obtained similar results for the two materials, and performing the test of resistance to compression, it was observed that the test specimens with fiber, obtained better results than the conventional concrete. Finally, the heat resistance test showed that the fiber actually degrades in the temperature range informed by the supplier, being another advantage for its application in tunnels, in front of the fires.

Keywords: Composite, concrete, polypropylene fiber, compressive strength, water absorption, heat resistance.

Introdução

A construção civil é um dos setores industriais mais importantes do país, já que grande parte da população trabalha neste ramo, impactando diretamente na economia do país, além de influenciar na infraestrutura do país, com novas moradias, edifícios e até mesmo, novas indústrias, muitas delas, vindas do exterior. Sua atuação é complexa e exige que o trabalho seja sempre bem feito, utilizando materiais com ótima qualidade, para evitar danos nos edifícios que podem gerar grandes

consequências para as pessoas que neles estão presentes.

Com isso, a tecnologia e inovação estão sempre em desenvolvimento, na busca de novos materiais e produtos, para melhorar a qualidade do serviço, reduzir o tempo da produção e obter a economia financeira. Entre eles estão os compósitos, material formado por uma matriz e um reforço.

O concreto convencional, formado por água, cimento e agregados, é o material mais utilizado nas construções, devido ser o material básico para toda

obra. Dificilmente observamos uma construção sem a utilização do concreto. Este material possui altas resistências mecânicas, como compressão, tração e flexão. Entretanto, há restrições em algumas aplicações, como em partes estruturais de um edifício. Neste caso, normalmente o concreto é reforçado com estruturas de ferro em seu interior. Referente ao piso industrial, por exemplo, geralmente é feito de concreto convencional reforçado com malhas de aço, porém, depois de finalizado, pode apresentar fissuras e dependendo do comprimento ou espessura destas fissuras, pode levar até a interdição do local.

Assim, iniciaram-se estudos de incorporação de fibras poliméricas no concreto, entre elas, a fibra de polipropileno, a fim de melhorar as resistências mecânicas do concreto e principalmente diminuir a presença de fissuras após a aplicação do concreto.

No caso de KHAN, et al. (2015), foi verificada a resistência à compressão do concreto com diferentes concentrações de fibra de PP, incorporações entre 0,5% a 3%. Obtendo como maior resultado, resistência de 31,5 MPa com 1% de fibra. Os testes de compressão foram realizados de acordo com a norma IS: 5816 – 1999. Atualmente, a incorporação da fibra no concreto pode variar de acordo com a aplicação desejada. E será o engenheiro calculista responsável pelo projeto estrutural que irá determinar qual a porcentagem correta a ser adicionada.

Com o avanço dos estudos, novas aplicações foram definidas para o uso da fibra de PP em concreto, como sua utilização em estrutura dos túneis.

Além da preocupação com a aplicação do concreto, o descarte deste material, deve ser feito corretamente, já que se for descartado em qualquer local, pode agredir o meio ambiente, devido possuir matérias primas tóxicas, como cimento. Por isso, hoje já existem empresas responsáveis pelo descarte e reaproveitamento do concreto.

O objetivo do estudo foi realizadas análises comparativas de resistências à compressão, calor e absorção de água do concreto convencional e do reforçado com fibra de polipropileno, a fim de verificar a importância e vantagens da incorporação da fibra. E também averiguar como é feito o descarte e reaproveitamento atualmente do concreto.

Métodos

Para realizar a caracterização dos materiais e compreender as características principais de cada um, assim como, suas resistências e propriedades, foram realizados três principais testes. O primeiro de resistência à compressão, o segundo, de absorção de água e por último de resistência ao calor.

Para isso, foi necessária a utilização de matérias primas específicas para a fabricação de

corpos de provas de concreto convencional e o reforçado com fibra de PP.

Especificação das Matérias Primas

O aglomerante utilizado foi o cimento Portland CP III-40 RS da empresa CSN. O número 40 na sigla, significa que sua resistência à compressão após 28 dias – cura total do concreto – é de 40 MPa.

Este cimento é classificado como RS, já que é resistente a sulfatos, normatizado pela NBR 5737, ou seja, resistente à água de esgotos, água do mar e alguns tipos de solos com compostos agressivos.

As produções industriais são feitas através moagem do clínquer e escória granulada de alto forno, conhecida como LHS - Ligante Hidráulico Siderúrgico. O uso de escória de alto forno possui vantagens técnicas que atribuem maior durabilidade e menor permeabilidade.

As principais aplicações do cimento CP III-40 RS são: fundações, estruturas de concreto massa ou armado, argamassas de diversos tipos, artefatos de concreto, fundações especiais como de obras marítimas e obras sujeitas a águas agressivas.

Sua formulação é composta de 25 a 65% de clínquer e gesso, 35 a 70% de escória granulada de alto forno e de 0 a 5% de material carbonático (CSN, 2016).

A areia e a brita utilizadas na parte experimental foram adquiridas da empresa ITABRAS Mineração.

A areia utilizada foi a areia grossa, que possui granulometria de 2,4 a 4,8 mm, tendo como principais aplicações, o concreto e chapiscos. Já a brita recebe a classificação de pedrisco misto, com granulometria de 4,8 a 12 mm, utilizados na construção, jardinagem, decoração e pavimentação. (ITABRAS Mineração, 2017).

A fibra de PP utilizada foi a Forta Ferro[®], Figura 1, esta fibra é importada dos Estados Unidos e comercializada no Brasil, pela empresa Construquímica. FORTA FERRO[®] é uma fibra sintética estrutural, composta 100% de copolímero/polipropileno virgem, consistindo em uma mistura (blend) de fibras monofilamento (não fibrilado - fibras estruturais) em feixe trançado (twist) e, fibras multi-filamentos (fibriladas - controle de retração), Figura 2, o que permite criar um sistema de reforço de concreto de alto desempenho. Proporciona ductilidade ao concreto, aumento nas resistências ao impacto e fadiga, controle eficaz das fissuras (secundárias e de temperatura), não sendo corrosivas, nem magnéticas, além de serem 100% resistentes aos álcalis do concreto, sendo, portanto, um material apto a substituir as fibras de aço e as telas soldadas de acordo com a norma ASTM C-1116 com grande vantagem técnica e econômica (Construquímica Comercial Ltda, 2017).



Figura 1 - Fibra FORTA FERRO®

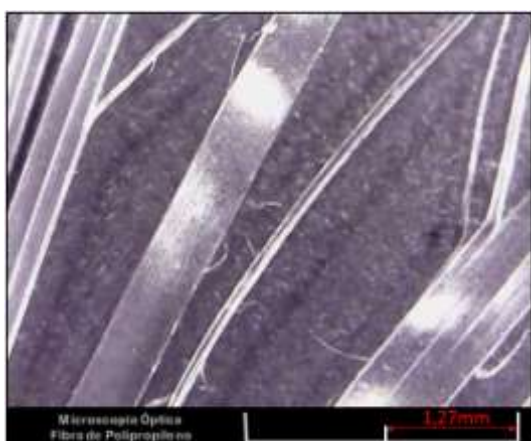


Figura 2 - Microscopia Óptica da fibra de polipropileno FORTA FERRO®

Corpos de Prova

Os corpos de prova para os testes de compressão e absorção de água foram fabricados de acordo com a ABNT NBR 5738, que indica que o corpo de prova deve ter como a medida da altura o dobro do diâmetro. E os diâmetros podem ter 10, 15, 20, 25, 30 ou 45 cm.

Assim, foi escolhida a medida de diâmetro de 10 cm com altura de 20 cm para a fabricação dos corpos de prova, por ser compatível com a medida da prensa em que serão realizados os testes de compressão.

Os moldes para a fabricação dos corpos de prova foram feitos de tubos de PVC e cortados na medida desejada.

Foram produzidos 14 moldes, 8 moldes para o teste de resistência à compressão e 6 para o teste de absorção de umidade. Destes, 7 moldes eram para o concreto convencional e 7 para o reforçado com fibra de PP.

Foram feitos 2 moldes para o teste de resistência ao calor de acordo com a medida da mufla, no caso, dois corpos de prova com 5,5 cm de diâmetro 2,5 cm de altura.

Traço do Concreto

Para a produção do concreto, deve-se calcular a quantidade de cada matéria prima para realizar a mistura. O traço do concreto possui como

significado, a proporção dos materiais em relação ao cimento para a fabricação. (Ambrozewicz, 2012, p.120)

O traço do concreto é definido de acordo com a resistência à compressão que este deve suportar em sua aplicação.

De acordo com a ABNT NBR 6118/78, a quantidade mínima de cimento para a fabricação de concreto é de 300kg para 1 m³ e de agregado miúdo, no caso a areia, deve ser de 30 a 50% do volume total dos agregados, areia e brita. E a água deve ser adicionada de 7 a 10% da mistura total.

Como o objetivo da parte experimental não é atingir necessariamente a resistência à compressão desejada, mas sim, apresentar a comparação de resistências entre o concreto convencional e o reforçado com fibra de PP, foi utilizado o seguinte traço:

Para cada 1 m³ de concreto, foi necessário:

- 0,8 m³ de brita;
- 0,6 m³ de areia;
- 300 kg de cimento;
- 162 L de água;
- 5 kg de fibra de PP.

Assim, para determinar a quantidade de cada matéria prima a ser utilizada, é preciso primeiramente calcular o volume de concreto para a fabricação dos corpos de prova, ou seja, o volume dos moldes. A seguir, encontram-se os cálculos do volume dos moldes:

Moldes para teste de resistência à compressão e absorção de água

Volume do cilindro = área da base x altura

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V = \pi \times 5^2 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$$

$$V = 1575 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume de 14 moldes: } 1575 \text{ cm}^3 \times 14 = 22050 \text{ cm}^3$$

Moldes para teste de resistência ao calor

Volume do cilindro = área da base x altura

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

$$V = \pi \times 2,75^2 \text{ cm} \times 2,5 \text{ cm}$$

$$V = 59,6 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume de 2 moldes: } 59,6 \text{ cm}^3 \times 2 = 119,1 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume total dos moldes: } 22050 \text{ cm}^3 + 119,1 \text{ cm}^3 = 22,169,1 \text{ cm}^3$$

Para facilitar o cálculo das matérias primas, este valor foi transformado em m³ e foram adicionados 10% do valor total como fator de segurança, para não haver falta de concreto para preenchimento dos moldes.

$$1.000.000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ m}^3$$

$$22169,1 \text{ cm}^3 = 0,023 \text{ m}^3$$

$$0,0221691 \text{ m}^3 = 10\% = 0,025 \text{ m}^3$$

A partir dos cálculos dos volumes foi determinada a quantidade necessária de cada

materia prima para realizar a mistura do concreto. A Tabela 1 apresenta os resultados.

Tabela 1- Cálculo de quantidade das matérias primas

Matéria prima	Em 1 m ³	Em 0,025 m ³	Peso específico do material	Quantidade
Cimento Portland	300 kg	8 kg	-	8 Kg
Brita	0,8 m ³	0,02 m ³	1800 kg/m ³	36 Kg
Areia úmida	0,6 m ³	0,015 m ³	1700 kg/m ³	26 Kg
Água	162 L	4 L	-	4 Kg
Peso total da mistura				74 Kg

Como a fibra de PP foi adicionada somente em metade dos corpos de prova, o peso dela foi calculado separadamente para somente 0,0125 m³.

Para 1 m³ de concreto, deveria adicionar 5 kg de fibra. Como, será fabricado apenas 0,0125 m³ de concreto reforçado com fibra, será adicionado, 62g de fibra de PP.

Após os cálculos das quantidades de cada material, estes foram pesados, com o auxílio de uma balança para posteriormente realizar a mistura.

Ferramentas utilizadas

Para realizar a mistura dos materiais foi necessário o auxílio das ferramentas, como:

enxada, caixa para mistura do concreto, conhecida como masseira e colher de pedreiro.

Preparação e mistura do concreto

Para realizar a mistura do concreto, foi colocado primeiramente a areia na masseira e logo em sequência: cimento, água, e por último o pedrisco misto (Figura 3). A mistura foi realizada manualmente com a enxada e colher de pedreiro, até se tornar homogênea.

No caso do concreto com a fibra de PP, a fibra foi adicionada junto com a areia e o cimento, Figura 4, antes do pedrisco com a água.



Figura 3. Etapas da mistura para fabricação do concreto convencional



Figura 4 - Adição da fibra na mistura para fabricação do concreto

De acordo com a ABNT NBR 5738 para os corpos de prova com diâmetro de 100 mm, feitos manualmente, o concreto deve ser preenchido no molde em duas camadas. Nestas camadas deve haver 12 golpes de adensamento, com o auxílio de

uma haste de aço cilíndrica com 16 mm de diâmetro e comprimento de 600 a 800 m.

Primeiramente foi adicionado concreto até a metade dos moldes, logo em seguida, foram realizados 12 golpes de adensamento. Os moldes

foram completados de concreto e novamente foram realizados mais 12 golpes. Por fim, a superfície foi alisada, já que os testes precisam ser realizados com a superfície plana.

O mesmo foi feito com o preenchimento dos moldes com o concreto reforçado com fibra de PP.

Para o teste de resistência ao calor, os moldes foram preenchidos de concreto, entretanto devido ao seu diâmetro ser menor que 100 mm, não foram necessários golpes de adensamento.

Após 24 horas do preenchimento dos moldes, por exigência da norma ABNT NBR 5738 os corpos de prova foram desmoldados e mantidos submersos na água para obter a cura desejada, até a realização dos testes de resistência a compressão e absorção de água.

Ensaio de resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado de acordo com a ABNT NBR 5739, que determina que o ensaio deva ser feito em uma prensa hidráulica.

O primeiro ensaio foi feito após 7 dias de cura do concreto.

Foram feitos testes com dois corpos de prova de concreto convencional e dois reforçados com fibra de PP.

Após 28 dias, foi realizado o segundo ensaio, igualmente ao primeiro. Testes com dois corpos de prova sem a fibra e dois reforçados com fibra.

A prensa hidráulica utilizada foi a da *Forney*, localizada na Faculdade Campo Limpo Paulista, disponível no laboratório de Engenharia Civil. Sua faixa de trabalho é de 20 a 100kN e possui um *display* que indica a força exercida em tempo real sobre o concreto em kN atendendo a norma NBR 5739. A força final é indicada quando o corpo de prova é rompido.

Absorção de água

A determinação de absorção de água dos corpos de prova foi feita de acordo com a ABNT NBR 9778. Esta norma solicita que os corpos de prova assim como o do ensaio de compressão, sejam feitos de acordo com a norma NBR 5738. Com isso, para este ensaio, foram feitos três corpos de prova de concreto sem a fibra e três com a fibra.

Os seis corpos de prova foram deixados submersos na água para a cura, até o início dos testes, feito após 28 dias. Estes foram colocados em uma estufa, disponibilizada no laboratório da FACCAMP, durante 72 horas a uma temperatura de 105 °C, podendo ter variações na temperatura de ± 5°C.

A cada 24 horas, os corpos de prova foram pesados em uma balança digital de precisão. Depois de 72 horas, os corpos de prova foram submersos em água, permanecendo também por 72 horas. E novamente a cada 24 horas, foram feitas as pesagens.

A partir das pesagens do concreto fresco e do concreto saturado, foram feitos os cálculos para verificar a quantidade de água absorvida.

Teste de resistência ao calor

O teste de resistência ao calor do concreto foi feito com base no artigo “A ação do fogo sobre os componentes do concreto” de Morales, et. al, 2001. Para a realização do teste, houve adaptações do artigo, principalmente na escolha dos picos de temperaturas de queima e tempo em que os corpos de prova ficaram no interior da mufla.

O objetivo do teste foi observar o comportamento do concreto e da fibra de PP em altas temperatura, assim como a perda de massa após a queima nos picos de temperaturas.

As temperaturas escolhidas como picos para a queima do material e verificar a pesagem foram: 100 °C, 200 °C, 400 °C e 800 °C. Estas temperaturas foram definidas principalmente para verificar o comportamento da fibra e do concreto, com a elevação geométrica.

Antes de iniciar a queima, as duas amostras foram pesadas, o concreto sem fibra e o concreto com fibra.

As amostras foram colocadas na mufla, disponível no laboratório da FACCAMP, e esta começou aquecer até a primeira temperatura escolhida, a de 100 °C. A mufla permaneceu nesta temperatura por 30 minutos. Após este tempo, a mufla foi aberta, as amostras retiradas e pesadas.

Após este procedimento, as amostras foram recolocadas na mufla, e esta começou aquecer novamente até 200 °C, as amostras permaneceram nesta temperatura do mesmo modo, por 30 minutos. Após isso, as amostras foram novamente pesadas. O mesmo ciclo ocorreu para as temperaturas de 400 e 800 °C.

Com o auxílio de um microscópio óptico digital, foram feitas fotos das amostras antes e após a queima total.

Resultados e discussão

A prensa hidráulica apresentou os resultados automaticamente em kN (N x 1000), entretanto a medida padrão para força de resistência à compressão, é em MPa.

Para obter os resultados foi necessário utilizar a seguinte fórmula:

$$\sigma = F / A, \text{ sendo}$$

▪ F = Força;

▪ A = Área;

Logo:

$$\sigma = f_{CK} = \text{Valor em N} / [\pi * (\text{raio em mm})^2]$$

A área dos corpos de prova é de 7853,98 mm². Com isso, a Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de compressão em kN, valor apresentado na prensa hidráulica, em MPa, resultado obtido a partir da fórmula apresentada acima.

Os corpos de prova foram identificados com as letras A e B, sendo A1 e A2, os corpos de prova sem fibra e B1 e B2 os reforçados com fibra de PP.

Tabela 2 - Resultados dos ensaios de compressão

Amostras e Resultados	Após 7 dias de cura		Após 28 dias de cura	
	kN	MPa	kN	MPa
A1	14,6	1,8	39,4	5,0
A2	12,9	1,6	35,3	4,5
B1	29,5	3,7	72,9	9,3
B2	26,9	3,4	62,5	7,9

De acordo com a ficha técnica do cimento *Portland da CSN CP III – 40*, os corpos de prova deveriam romper em 7 dias com uma pressão de maior ou igual a 23 MPa e em 28 dias, romper com pressão maior ou igual a 40 MPa. Na Tabela 2 pode-se observar que os resultados das pressões não alcançaram os resultados descritos pela ficha técnica do cimento.

Há duas principais variáveis que podem influenciar no resultado inferior do que o esperado, são elas, a quantidade de água adicionada em excesso na mistura e a forma em que a mistura foi realizada. Para atingir altas pressões de ruptura, o concreto deveria ser misturado em uma betoneira, porém, este foi feito manualmente, podendo gerar uma mistura com partes não homogêneas.

Entretanto, o objetivo dos testes era apresentar a diferenças de resistências entre o concreto convencional e o com fibra de PP. Que conforme a ficha técnica da fibra, esta elevaria a resistência à compressão do concreto.

Neste caso, o resultado foi satisfatório, já que conforme a Tabela 2 e o Gráfico 1, nota-se que a média de pressões de ruptura dos concretos (B1 e B2) reforçados com fibra foram quase o dobro da média das pressões dos concretos convencionais (A1 e A2), tanto nos testes após 7 dias de cura, quanto após 28 dias. O que evidencia, que se a mistura fosse feita na betoneira, os resultados poderiam ser ainda melhores.

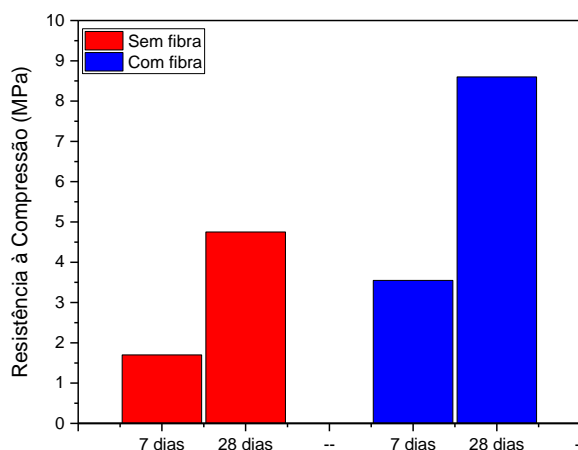


Gráfico 1 - Resultados dos ensaios de compressão

A determinação de absorção de água dos corpos de prova foi feita de acordo com a ABNT NBR 9778. Nesta, pede-se que o teste seja realizado com pelo menos três corpos de prova. Com isso foram feitos seis corpos de provas, três sem fibra de PP (A1, A2 e A3) e três reforçados com a fibra (B1, B2 e B3).

Abaixo, primeiramente encontra-se a Tabela 3 com as pesagens dos corpos de prova e o Gráfico 2 com a média das pesagens após a secagem na

estufa a 105 °C, permitindo variação de ± 5°C. Os corpos de prova inicialmente foram pesados, após a retirada da água, que foi necessária para a cura do concreto. Posteriormente, foram pesados após 24, 48 e 72 horas de secagem. Nota-se que os corpos de prova tiveram uma diminuição de massa de 290 a 345g, referente a perda de água, obtendo o material completamente seco, para posteriormente

conseguir calcular exatamente a porcentagem de água absorvida.

Logo após a secagem na estufa, os corpos de prova foram submersos em água, e suas massas

foram novamente verificadas após 24, 48 e 72 horas. Tabela 4 e Gráfico 3 apresentam os resultados.

Tabela 3 - Pesagem dos corpos de prova após secagem

Amostras e Resultados (kg)	Antes da secagem	Após 24 horas	Após 48 horas	Após 72 horas
A1	3,330	3,080	3,040	3,035
A2	3,290	3,045	2,990	2,990
A3	3,275	3,055	2,995	2,985
B1	3,205	2,995	2,895	2,875
B2	3,215	3,020	2,920	2,890
B3	3,170	2,960	2,870	2,825

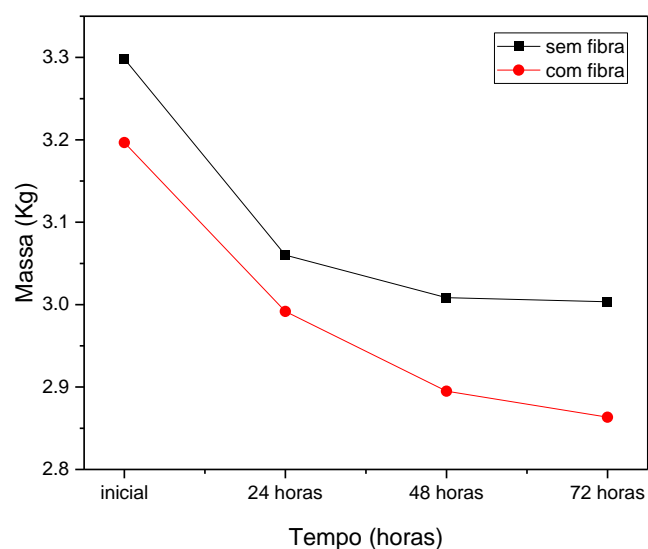


Gráfico 2 - Pesagem dos corpos de prova após secagem

Tabela 4 - Pesagem dos corpos de prova após submersão em água

Amostras e Resultados (kg)	Após 24 horas	Após 48 horas	Após 72 horas
A1	3,325	3,330	3,330
A2	3,285	3,285	3,290
A3	3,265	3,270	3,275
B1	3,200	3,205	3,205
B2	3,210	3,215	3,215
B3	3,165	3,170	3,170

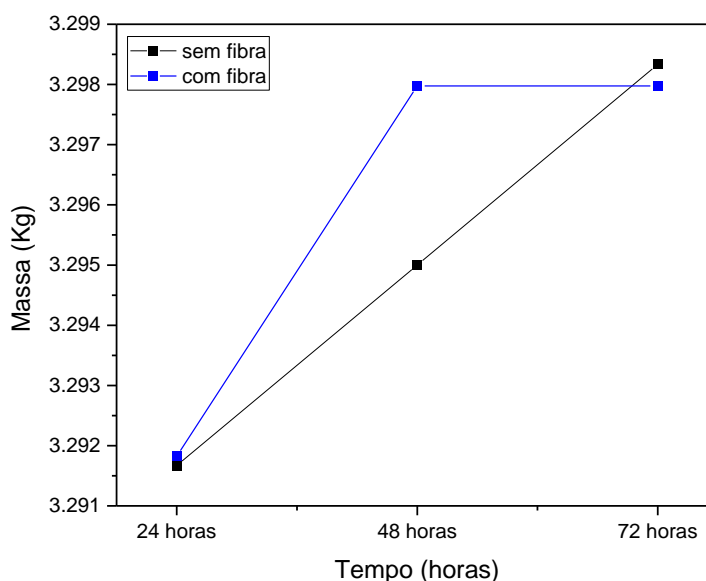


Gráfico 3 - Pesagem dos corpos de prova após submersão em água

A partir das tabelas e dos gráficos, pode-se notar que a perda de massa na secagem e a quantidade de água absorvida nos seis corpos de prova foram muito similares. Para concretizar os resultados, foi necessário realizar os cálculos, com a fórmula abaixo, de acordo com a norma NBR 9778.

$$\text{Porcentagem de absorção de água} = [(B-A) / A] \times 100$$

A = Média das massas em g das amostras secas em estufa;

B = Média das massas em g das amostras saturadas em água.

Logo, foram calculadas as médias das massas em g, e os resultados foram apresentados na Tabela 5, dos corpos de prova sem fibra e reforçados com fibra, após 72 horas de secagem na

estufa e após 72 horas de submersão em água, amostra saturada.

Após o cálculo das médias, a fórmula foi aplicada, tendo como resultados:

- Amostra A (sem fibra): 9,8% de absorção de água;
- Amostra B (com fibra): 11,6% de absorção de água.

Por fim, pode-se observar com os cálculos e gráficos que tanto os corpos de prova de concreto convencional e reforçado com fibra, apresentarem absorção de água muito próximas. Tendo como resultado satisfatório, já que os corpos de prova com fibra, conforme apresentado no teste anterior, a resistência à compressão é maior, com isso, a absorção de água não irá interferir nas aplicações dos concretos reforçados.

Tabela 5 - Média das massas dos corpos de prova

Amostras e Resultados (g)	Após secagem (A)	Após saturação (B)
Sem fibra de PP	3.003	3.298
Com fibra de PP	2.863	3.197

Teste de resistência ao calor

Conforme explicado anteriormente, as amostras de concreto convencional (amostra A) e concreto com fibra de PP (amostra B) foram colocadas na mufla e a temperatura foi elevada

gradativamente até os picos de temperaturas escolhidas, 100 °C, 200 °C, 400 °C e 800 °C.

Antes de iniciar os testes e nos picos de temperaturas, foi realizada a pesagem das amostras. Abaixo encontra-se os resultados na Tabela 6.

Nota-se na Tabela 6 e no Gráfico 4, que as perdas de massa das duas amostras foram muito parecidas, já que ao todo, a amostra A, perdeu 9,13 g e a amostra B, 8,17 g. Obtendo um resultado satisfatório, já que a fibra se degrada em torno de 160 °C e devido ser muito leve, ela libera espaço no concreto, mas sem perda significativa de massa. Sua perda é como a do concreto convencional.

Observou-se que a fibra de PP fundiu-se em torno de 160 °C.

Tabela 6 - Resultados das pesagens nos picos de temperaturas

Peso das amostras (g)		
Temperatura	Amostra A	Amostra B
Ambiente	177,65	169,87
100 °C	176,57	168,64
200 °C	173,89	166,10
400 °C	172,00	164,72
800 °C	168,52	161,70

Em 800 °C, já não se observa mais a fibra, somente o espaço deixado por ela. Outro ponto a se destacar é que a partir da microscopia óptica, a partir das Figuras 5 e 6, pode-se notar que o concreto convencional apresentou mais fissuras do que o reforçado com fibra, o que sugere que a fibra mantém a estrutura mais dúctil, mesmo após sua degradação. Sendo sua principal função nos pisos

industriais, diminuir a presenças de fissuras, principalmente horas após a aplicação do concreto.

Por fim, conforme a temperatura se eleva, há perda de propriedades do concreto, principalmente acima de 300°C e diferentes efeitos são apresentados. Isto é o que (Morales, et. al., 2011) explica:

- **100-500°C** – Lascamento, “explosive spalling”, início do processo de desidratação do gel de C-S-H, que se intensifica em 300°C e prossegue até próximo de 400°C;
- **200°C** – Retração por perda de água da tobermorita e dilatação dos agregados;
- **300 – 400°C** – Redução da água do gel com a formação de silicatos anidros ocorrendo fissuras superficiais;
- **400 – 500°C** – Retração acentuada por desidratação do hidróxido de cálcio;
- **500 – 600°C** – Desidratação mais rápida do hidróxido de cálcio;
- **575°C** – Expansão do quartzo na transformação de alfa para beta, com fissuração da matriz cimentícia;
- **600°C e 700°C** - Transformações de outros agregados; O CaCO₃ começa a se transformar em CaO e a liberar CO₂;
- **800°C** – Retração por perda de água combinada da tobermorita;
- **870°C** – Expansão do quartzo na transformação de beta em tridimita.

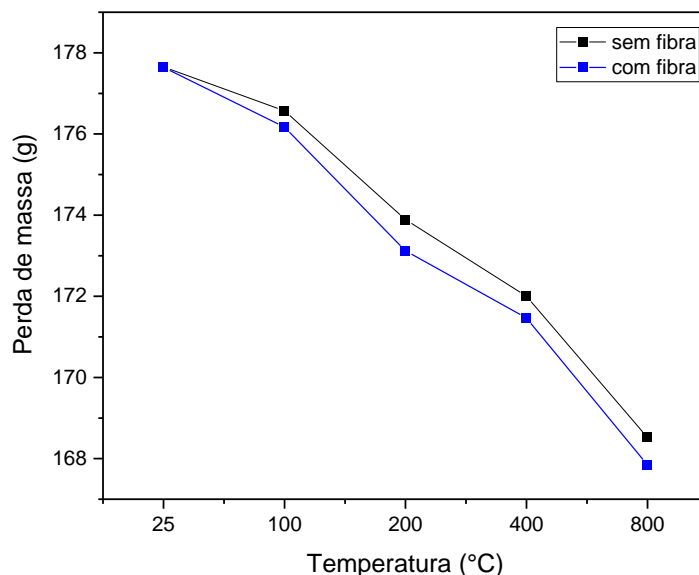


Gráfico 4 - Perda de massa das amostras

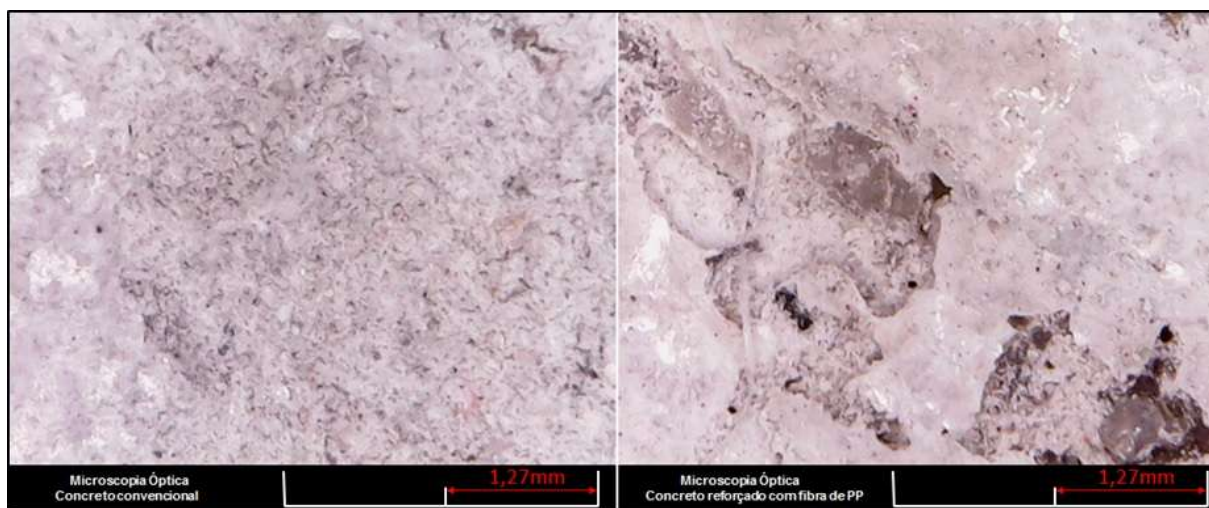


Figura 1 - Microscopia óptica do concreto convencional e reforçado com fibra de PP antes da queima

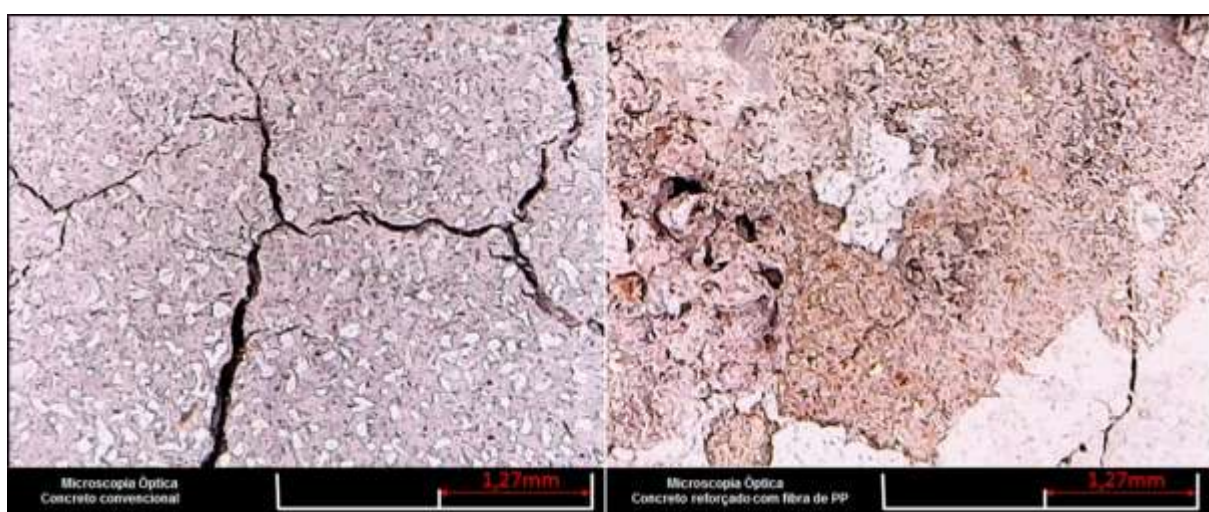


Figura 2 - Microscopia óptica do concreto convencional e reforçado com fibra de PP após queima em 800 °C

Uma das vantagens do concreto convencional e do concreto com fibra de PP é que são recicláveis, ou seja, o excesso de concreto que permanece na obra ou o concreto que é demolido podem ser reaproveitados.

Devido às aplicações dos concretos estruturais, como vigas, pilares e concretos industriais, obrigatoriamente, precisam ter altas propriedades. Nestes casos, não podem ser aplicados os concretos reciclados, já que estes apresentam propriedades inferiores, devido oferecerem maiores deformações do que os concretos com matérias primas virgens.

De tal modo, os concretos reciclados, são utilizados para aplicações mais simples, como adição em asfalto, calçada e até mesmo em objetos decorativos.

O foco da reciclagem é não haver descarte do concreto no meio ambiente, já que sua composição é formada por diversos componentes nocivos com alta toxicidade, um exemplo, o cimento, podendo comprometer o local em que for despejado.

Para isso, há empresas que trabalham com a reciclagem do concreto. Uma delas é a Geresol - Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos da cidade de Jundiá.

Conforme notícia publicada no site da prefeitura de Jundiá, no dia 17/07/2017:

“Por mês chegam ao Gerenciamento de Resíduos Sólidos (Geresol) da Prefeitura de Jundiá 15 mil toneladas de restos da construção civil (RCC). Esse material passa por tratamento e se transforma em matéria-prima para obras de pavimentação e de drenagem na cidade. Do entulho são gerados seis subprodutos. O cascalho é usado para melhoria das estradas não pavimentadas. Já a areia e a pedra se transformam em concreto, usado em obras realizadas pela Prefeitura e pela DAE. O resíduo de construção é 100% reciclado e volta como benefício para a população. Por isso é importante fazer o descarte adequado do material, salienta o diretor de Limpeza Pública da UGISP, Márcio Moraes. A UGISP realiza fiscalização em toda

a cidade para conter o descarte irregular de RCC” (Prefeitura de Jundiaí, 2017).

Caso ocorra de o concreto não poder ser reaproveitado, este é descartado em aterros autorizados para este tipo de material.

Portanto, se o descarte for feito da maneira correta junto com seu reaproveitamento, este pode ajudar na sustentabilidade e preservação do meio ambiente.

Considerações finais

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou os estudos do concreto convencional e o concreto reforçado com fibra de PP, que atualmente são utilizados em aplicações específicas. No caso do concreto reforçado com a fibra de PP, possui duas principais aplicações, uma delas, é sua introdução em pisos industriais, tendo como principal característica, diminuir a presença de fissuras nas primeiras horas de aplicação. A segunda aplicação, não menos importante, é a utilização em túneis. O concreto reforçado com a fibra protege a estrutura de concreto em presença de incêndios, já que a fibra degrada e libera espaço para a saída do vapor d'água, evitando tensões dentro do concreto, evitando riscos de desabamento. Já o concreto convencional, possui diversas aplicações, desde decorativas, pavimentações, até estruturais, geralmente reforçado com aço.

A partir das análises, ficou evidente que a aplicação da fibra como reforço, impacta diretamente na resistência mecânica do concreto. Já que, nos ensaios de compressão, o concreto reforçado com fibra apresentou resultados aproximados ao dobro de resistência, do que o concreto convencional. Ao lado disso, referente à absorção de água, os dois tipos de concreto apresentaram resultados muito próximos, o que permite concluir que o uso da fibra não deixa o concreto com resistência inferior às intempéries. Por fim, a queima dos dois concretos na mufla permitiu observar, que o concreto com fibra apresentou menor quantidade de fissuras após a queima, e que realmente, a fibra degrada em temperaturas de acordo com a especificação do fornecedor, comprovando sua vantagem na aplicação em túneis, frente aos incêndios, assegurando a estrutura do concreto.

Além disso, o concreto é composto por materiais nocivos ao meio ambiente, caso o seu descarte seja feito incorretamente. Por isso, no Brasil, e como exemplo, na região de Jundiaí, já existem empresas responsáveis para realizar o descarte correto deste material, e principalmente, realizar a trituração e separação das matérias primas, para que sejam reaproveitadas em diferentes aplicações.

Dada à importância da incorporação da fibra de PP no concreto, como sugestão para próximos

trabalhos, poderia realizar outros testes com o concreto, como ensaios de tração, ou ensaios não destrutivos, como exemplo, ultrassom para análise do interior das amostras. Ainda, poderia fabricar mais corpos de prova reforçados com diferentes proporções de fibra de PP, para verificar as diferenças de resistências mecânicas frente às porcentagens de fibra.

Referências

AMBROZEWICZ, Paulo Henrique Laporte. Materiais de construção. São Paulo: Pini Ltda, 2012. 455 p.

ANDRADE, Mateus Antônio Gubert. ENADE COMENTADO: Química 2011. 2014. Disponível em: <<http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/Ebooks/Pdf/978-85-397-0399-9.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2017.

ASSESSORIA DE IMPRENSA (Jundiaí). No Geresol, resíduo da construção garante matéria-prima para obras. 2017. Disponível em: <<https://www.jundiai.sp.gov.br/noticias/2017/07/17/no-geresol-residuo-da-construcao-garante-materia-prima-para-obras/>>. Acesso em: 22 out. 2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5732: Cimento Portland comum. 1991.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5737: Cimentos Portland resistentes a sulfatos. 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5739: Concreto - Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. 2005.

BURAKOWSKI, Liliana; REZENDE, Mirabel C. Modificação da rugosidade de fibras de carbono por método químico para aplicação em compósitos poliméricos. São Carlos, v. 11, n. 2, p.51-57, jun. 2001. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0104-14282001000200006>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282001000200006>. Acesso em: 09 out. 2017.

- CAETANO, Mário J. L.. Plásticos. 2014. Disponível em: <https://ctborracha.com/?page_id=877>. Acesso em: 10 ago. 2017.
- CALLISTER Jr, William D. Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: Uma abordagem integrada. 2. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2011. 702 p.
- COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL (São Paulo). CIMENTOS: Descrição Geral. 2016. Disponível em: <http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo=59832>. Acesso em: 13 out. 2017.
- CONSTRUQUÍMICA COMERCIAL LTDA (Campinas). FORTA FERRO ®: Fibra Sintética Estrutural. 2017. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/construq_uimica/forta_imperflon.pdf>. Acesso em: 18 out. 2017.
- COSTA, Felipe de Oliveira. Estudo de areias naturais e de britagem para formulação e comercialização de agregado miúdo pronto para concretos de diferentes resistências. 2013. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/115446/Estudo_de_areias_naturais_e_de_britagem_para_formulação_e_comercialização_de_agregado_miúdo_pronto_para_concretos_de_diferentes_resistências.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 out. 2017.
- FIGUEIREDO, Antonio Domingues de. Concreto reforçado com fibras. 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/publico/teselivredocenciaantoniofigueiredo2011.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2017.
- FIGUEIREDO, Antonio Domingues de; TANESI, Jussara; NINCE, Andréia Azeredo. Concreto com fibras de polipropileno (CFP). 2002. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/66/artigo287241-1.aspx>>. Acesso em: 24 set. 2017.
- Forney Lp. 2017. Disponível em: <http://forneyonline.com/machine-types/compression-machines>>. Acesso em: 10.out.2017.
- FORTAŽ CORPORATION. FORTA-FERRO® – STRONG AS STEEL! 2017. Disponível em: <<http://www.forta-ferro.com/products/forta-ferro/>>. Acesso em: 02 set. 2017.
- GIROTO, Adilson. Compósitos de polipropileno reforçados com partículas de quartzo – Efeito de agentes compatibilizantes nas propriedades mecânicas. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/304936/1/Giroto_Adilson_M.pdf>. Acesso em: 29 out. 2017.
- GONÇALVES, Rodrigo Dantas Casillo. Agregados reciclados de resíduos de concreto - um novo material para dosagens estruturais. 2001. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjR3uuH_OvWAhWBh5AKHfLSD3EQFggnMAA&url=http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-06052016-150748/&usg=AOvVaw2LevHzeLsun62QL1fSDG0E>. Acesso em: 09 out. 2017.
- GUIMARÃES, Diego. Pisos industriais em concreto : determinação de teores ótimos de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos. 2010. 88 f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2010.
- ITABRAS MINERAÇÃO (Jundiaí). Produtos. 2017. Disponível em: <<https://www.itabrasmineracao.com.br/produtos.html>>. Acesso em: 13 out. 2017.
- KHAN, Saman et al. Mechanical properties of Polypropylene Fibre reinforced concrete for M 25 & M 30 mixes: A Comparative study. International Journal Of Scientific Engineering And Applied Science (ijseas). Tamil Nadu, p. 327-340. Não é um mês valido! 2015. Disponível em: <<http://ijseas.com/volume1/v1i6/ijseas20150634.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2017.
- LUCENA, Júlio César Tavares. Concreto reforçado com fibras de polipropileno: estudo de caso para aplicação em painel alveolar de parede fina. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-30032017-104705/pt-br.php>>. Acesso em: 22 set. 2017.
- LYRA, Jorge Santos. Estudo da influência de policarboxilato comercial na hidratação, reologia e físico-química de superfície do cimento. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3133/td e-17082010-121325/publico/Dissertacao_Jorge_Santos_Lyra.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017.

MORALES, Gilson et al. A ação do fogo sobre os componentes do concreto. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 32, n. 1, p.47-55, mar. 2011. Trimestral. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewFile/4057/8315>>. Acesso em: 14 out. 2017.

MODRO, Neilson Luiz Ribeiro. Desenvolvimento e caracterização de concreto de cimento portland contendo resíduos poliméricos de PET. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville, Joinville. Disponível em: <http://univille.edu.br/data/siteimages/8/dissertacao_neilson_luiz_ribeiro_modro.pdf>. Acesso em: 01 set. 2017.

OTA, Waldyr Naoki. Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional. 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/1285/WALDYR;jsessionid=4B6CEF7808A00DCF89F53A314D4409C9?sequence=1>>. Acesso em: 15 set. 2017.

PISOS Industriais Disponível em: <<http://www.pisosindustriais.com.br/revista/index.asp>>. Acesso em: 19 ago. 2012.

PISOS Industriais de Concreto Disponível em: <<http://www.blocoeng.com.br/eficiente/repositorio/Artigos/191.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2012.

SILVA, Fernando Eduardo Costa e; ROBLES, Léo Tadeu. Gestão de resíduos sólidos não convencionais: o caso do GERESOL - Centro de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de Jundiá - SP. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, São Paulo, v. 22, n. 1808-4524, p.38-49, 22 out. 2017.

Disponível em: <http://abes-dn.org.br/publicacoes/rbciamb/PDFs/22-07_Materia_5_final_artigos288.pdf>. Acesso em: 20 out. 2017.

SILVA JÚNIOR, Fancisco Alves da. Avaliação do efeito da adição de resíduo de borracha de pneu e brita calcária na formulação de compósitos cimentícios. 2014. 184 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Disponível em: <http://repositorio.ufrn.br:8080/jspui/bitstream/123456789/12867/1/FranciscoASJ_TESE.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017.

SILVA, Rosiany da Paixão. Argamassas com adição de fibras de polipropileno - estudo do comportamento reológico e mecânico. 2006. 191 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-17112006-141646/pt-br.php>>. Acesso em: 20 set. 2017.

VAN VLACK, Lawrence H.. Princípios de ciência dos materiais. 13. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2000. 427 p.

VENTURA, Ana Mafalda F.m. Os compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. C.tecn. Mat., Lisboa, v. 21, p.3-4, jul. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_artext&pid=S0870-83122009000200003>. Acesso em: 22 set. 2017.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações. São Paulo: Artiliber, 2005. 352 p.